4Б

УДК 004.048+681.327.1

Л.А. Белозерский, Л.В. Орешкина
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск,
Республика Беларусь
blzrsk@newman.bas-net.by, ola@newman.bas-net.by

Способ автоматизации сведения яркостей разновременных спутниковых изображений геодезически определенных участков земной поверхности

В статье предлагается способ автоматического сведения яркостей разновременных космических изображений наземных объектов, геодезически ограниченных по положению на поверхности Земли. Сведение строится на основе использования разности гистограмм этих изображений, допускающей программную реализацию как путь автоматического решения задачи без применения интерактивных операций. Рассматриваются аналитические предпосылки принятого построения, приводятся экспериментальные данные и формулировка алгоритма обработки информации.

Введение

Вопрос сведения яркостей разновременных спутниковых изображений не нов [1], [2]. Без этого не обойтись во избежание появления ложных яркостных отличий при их вычитании на заключительном этапе сопоставления. В то же время одним из неудобств обычно применяемой здесь методологии является то, что она предполагает интерактивное выполнение. Суть его состоит в выборе такой компоненты отображаемого участка поверхности Земли, которая сохраняла бы свои отражающие свойства в разнесенных во времени съемках и легко идентифицировалась бы на изображениях. Использование яркостей разрешаемых элементов (пикселей) этой компоненты в качестве выборок эталонных и соответствующих им текущих значений завершается построением полинома первой степени для приведения яркостей текущего изображения к предшествующему (эталонному):

$$L_{ЭТ}(x, y, t_1) = k \cdot L(x, y, t_2) + \Delta L, \qquad (1)$$

где $L_{ЭТ}(x, y, t_1)$ и $L(x, y, t_2)$ – уровни яркости участка поверхности изображения эталона и текущего изображения;

t_1, t_2 – время получения каждого изображения ($t_2 > t_1$);

ΔL и k – коэффициенты полинома первой степени.

Вполне очевидно, что упомянутый выбор компоненты, сохранившей за время между съемками ($\Delta t = t_2 - t_1$) неизменными коэффициенты отражения в диапазоне выполняемой регистрации, сопряжен как с трудностями наземного обследования соответствующего участка и подтверждения константности его свойств, так и с идентификацией и с установлением соответствия разрешаемых элементов (пикселей) на паре разновременных изображений.

Несмотря на приведенные часто непреодолимые препятствия, рассмотренная методология остается единственно возможной, если приходится сопоставлять разновременные частично перекрывающиеся между собой изображения полного захвата некоторого пространства спутниковой съемкой.

Наряду с этим можно обнаружить, что геодезическое ограничение какого-либо наземного участка и сравнение изображений, выполненных в разное время в его границах, открывают новые возможности приведения яркостей, допускающие его программную реализацию с автоматическим выполнением без интерактивных действий. Такая методология должна основываться на использовании гистограмм распределения яркостей анализируемых изображений. Достоинством ее является одновременно и то, что она легко распространяется на любые по площади земельные пространства, если те геодезически разделены на отдельные участки (объекты), в пределах которых осуществляется сведение яркостей.

Цель работы

Целью предлагаемой статьи является раскрытие возможностей использования гистограмм для автоматического сведения яркостей разновременных изображений объектов, положение которых строго определено и ограничено на поверхности Земли.

Особенности постановки и решения задачи

Дистанционное зондирование поверхности Земли, являясь источником многочастотной информации по ее отражающим свойствам, доставляет современному исследователю разносторонние данные в виде изображений спутниковой съемки. При этом можно обратить внимание на достаточно внушительные размеры полос захвата и обзора регистрирующей аппаратуры при каждом пролете спутников над интересующим районом. Если же принимать во внимание, что с применением и освоением возможностей дистанционного зондирования в большом числе задач все более растут потребности в материалах съемки высокого и сверхвысокого разрешения, то используемые участки поверхности Земли должны естественным образом уменьшаться по размерам с одновременным увеличением их числа, обеспечивающим покрытие любых территорий интереса. При этой тенденции:

– исключается возможность присутствия в изображениях территорий, не интересующих решаемую задачу, при охвате съемкой больших земельных площадей;
– повышается детальность и качество исследований;
– улучшается представление об объеме информации, полученной в текущей съемке, и о том, что должно быть получено при очередных пролетах спутника.

Достижение таких преимуществ сопряжено с четким геодезическим определением границ интересующих участков. Причем каждый представляющий интерес пространственно ограниченный участок следует считать объектом наблюдения.

Объект любого круга интересов редко характеризуется полностью однородной поверхностью, доступной спутниковой съемке. В общем случае он представляет собой композицию компонент, определяющую его часто уникальный внешний облик.

Для объектов технического назначения в качестве таких компонент, наблюдаемых при спутниковом зондировании, могут быть:

– кровли цехов;
– кровли складских помещений;
– подъездные дороги;
– стоянки транспортных средств;
– емкости для хранения жидкостей;
– зеленые насаждения (трава, кусты, деревья) и т.п.

Для объектов землепользования компонентами являются:

– участки с различными видами естественной растительности;
– сельскохозяйственные угодья разного состава и назначения;
– болота;
– искусственные и естественные водоемы и т.п.

Аналогично могут быть составлены перечни компонент объектов любых областей использования дистанционного зондирования Земли.

Вполне очевидно и в [3], [4] показано, что гистограммы изображений наземных объектов реагируют на любые изменения состояний их компонент. В частности:

– при увеличении яркости какой-либо компоненты гистограмма теряет соответствующее ей количество пикселей на яркостях этой компоненты и приобретает равное этой потере количество на увеличившейся яркости;
– при уменьшении яркости какой-либо компоненты наблюдается противоположное перемещение пикселей.

Кроме того:

– при возрастании среднеквадратических разбросов отражающих свойств компонент уменьшается число пикселей в области наиболее вероятных значений распределений соответствующих компонент с одновременным возрастанием их числа (суммы остаются постоянными) по обе стороны от них симметрично;
– при уменьшении среднеквадратических разбросов отражающих свойств компонент возрастает число пикселей в областях наиболее вероятных значений распределений соответствующих компонент с одновременным симметричным уменьшением их числа (суммы остаются постоянными) по обе стороны от него.

Одновременно согласно общим физическим представлениям [5] яркости каждой компоненты прямо пропорциональны освещенности. Следовательно, увеличение или уменьшение освещенности от съемки к съемке приводит к изменениям в интересующей области распределения яркостей.

Рассмотренные изменения наиболее выразительно представляются разностью гистограмм разновременных изображений объектов спутниковой съемки [3], [4], [6].

Уже на интуитивном уровне здесь легко предположить, что

– разности гистограмм разновременных изображений, сведенных по яркости и полученных при отсутствии физических и сезонно-погодных изменений на объекте обращаются в нуль;
– изменения внешнего облика объектов при сведенных по яркости изображениях обусловливают ненулевые разности гистограмм, тем большие, чем больше эти изменения.

Исследования показывают, что упомянутые разности для ограниченных по площади объектов могут играть важную роль в процессе сведения яркостей их изображений. Пониманию этого и построению соответствующей методологии способствует предлагаемая теорема о пересечении гистограмм изображений двух равных по площади объектов и результаты ее доказательства.

Теорема о разности гистограмм как аналитическая предпосылка методологии сведения яркостей

Моделирование и экспериментальные исследования гистограмм [3], [4], [6] позволяют сформулировать следующее утверждение:
Разность гистограмм изображений двух равных по площади объектов спутниковой съемки состоит из отрицательных и положительных значений, суммы которых равны между собой, не превышают общего числа разрешаемых элементов (пикселей) изображений этих объектов и уменьшаются по мере роста степени пересечения гистограмм.

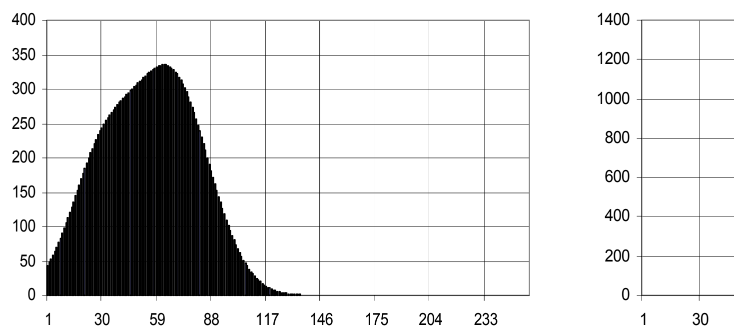
Для аналитической определенности пусть $H_1(L)$ и $H_2(L)$ – две гистограммы изображений двух равных по площади объектов, представляющие собой множество дискретных значений числа элементов пространственного разрешения (пикселей) спутниковой съемки этого объекта, распределенных по яркостям в диапазоне $L = \overline{0,255}$. Суммы этих значений в указанном диапазоне могут быть представлены так:

$$S_1 = \sum_{L=0}^{255} H_1(L) \text{ и } S_2 = \sum_{L=0}^{255} H_2(L).$$

В силу соответствия изображений объектам, равным по площадям (постоянство числа элементов пространственного разрешения спутниковой съемки), эти суммы равны между собой:

$$S_1 = S_2. \quad (2)$$

Обе рассматриваемые гистограммы на одном и том же интервале яркостей $\overline{0,255}$ при сопоставлении принципиально могут позиционироваться как обособленные, занимать отличающиеся положения на шкале яркостей (рис. 1).



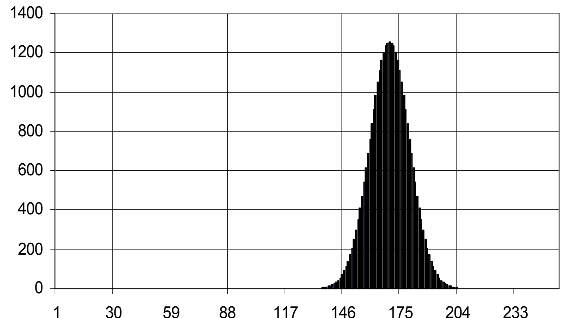


Рисунок 1 – Гистограммы $H_1(L)$ и $H_2(L)$, обособленные по яркостям

Если интервал позиционирования гистограммы $H_1(L)$ определить диапазоном ее значений $\overline{0, L_1}$, а позиционирования второй гистограммы – диапазоном $\overline{L_2,255}$, то при $L_2 \geq L_1$ гистограммы окажутся всегда обособленными.

Когда имеют дело со случаем $L_2 < L_1$, гистограммы на интервале своего позиционирования пересекаются (рис. 2).

Введем выражение разности между гистограммами на шкале яркостей $\overline{0,255}$ в виде

$$\Delta H(L) = H_1(L) - H_2(L). \quad (3)$$

Тогда первому случаю размещения гистограмм (рис. 1) соответствует разность их, представленная на рис. 3а, второму (рис. 2) – на рис. 3б.

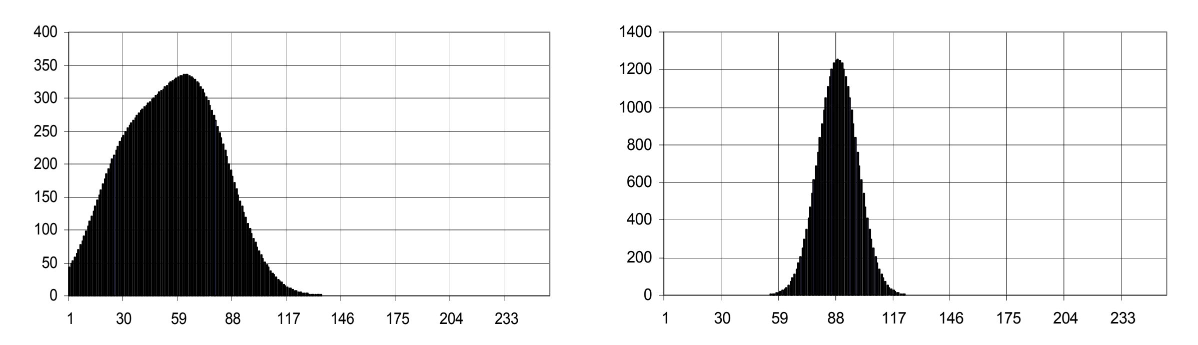


Рисунок 2 – Гистограммы, пересекающиеся по яркостям позиционирования

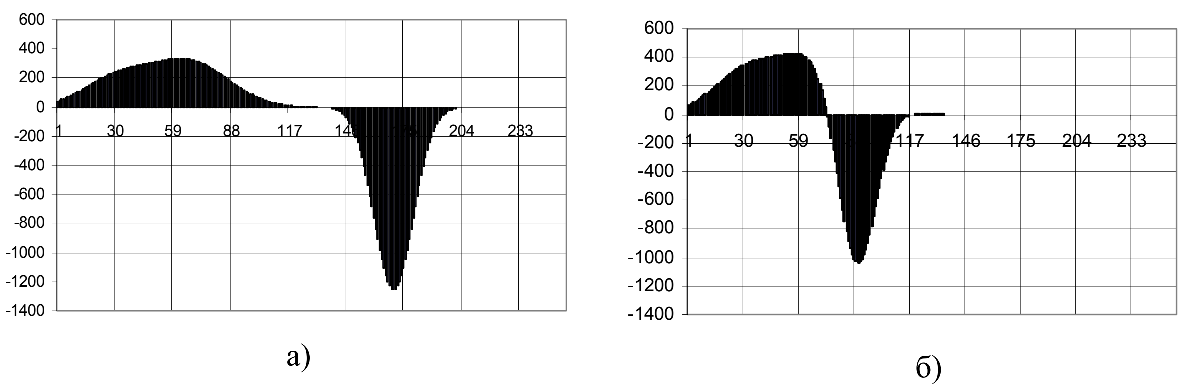


Рисунок 3 – Разности гистограмм для первого (а) и второго (б) случаев их позиционирования

Заметим, что как при обособленном состоянии, так и при пересечении гистограмм $H_1(L)$ и $H_2(L)$ согласно выражениям (2) и (3) сумма значений этой разности всегда равна нулю:

$$\sum_{L=0}^{255} \Delta H(L) = \sum_{L=0}^{255} H_1(L) - \sum_{L=0}^{255} H_2(L) = S_1 - S_2 = 0\,. \tag{4}$$

В то же время легко обнаружить, что в случае пересечения гистограмм (рис. 3б) площади положительных и отрицательных значений разности этих гистограмм уменьшаются по сравнению с обособленным положением (рис. 3а). Для последующего анализа этой ситуации независимо от положения гистограмм на шкале яркостей рассматриваемые разности можно представить более общей в отличие от (3) записью:

$$\Delta H(L) = \begin{cases} \Delta H^{+}(L), \textit{ если } H_1(L) - H_2(L) > 0; \\ \Delta H^{-}(L), \textit{ если } H_1(L) - H_2(L) < 0. \end{cases}$$

Суммы положительных ($\Delta H^{+}(L)$) и отрицательных ($\Delta H^{-}(L)$) значений разности, пропорциональные их площадям, обозначим здесь так:

$$S^{+} = \sum_{L=0}^{255} \Delta H^{+}(L) \text{ и } S^{-} = \sum_{L=0}^{255} \Delta H^{-}(L)\,.$$

Требуется доказать, что при пересечении гистограмм $H_1(L)$ и $H_2(L)$, введенные суммы всегда равны между собой $S^+ = S^-$, удовлетворяют неравенствам $S^+ \leq S_1$ и $S^- \leq S_2$, а также уменьшаются по мере увеличения степени пересечения гистограмм.

Доказательство. Если диапазоны яркостей гистограмм не пересекаются ($L_2 \geq L_1$), то суммы положительных и отрицательных значений при их вычитании согласно рис. 3а и выражению (4) окажутся равными суммам значений каждой из гистограмм:

$$S^+ = S_1, \text{ а } S^- = S_2.$$

Теперь допустим, что гистограммы $H_1(L)$ и $H_2(L)$ пересекаются, но так, что только по одному дискретному значению каждой из них имеют совпадающую яркость L_k. Тогда суммы гистограмм можно представить, выделив эти единственные значения в виде отдельных слагаемых и уменьшив одновременно каждую из сумм на соответствующее число:

$$S_1 = [S_1 - h_1(L_k)] + h_1(L_k);$$
$$S_2 = [S_2 - h_2(L_k)] + h_2(L_k),$$

где $h_1(L_k), h_2(L_k)$ – число пикселей дискретных значений первой и второй гистограмм на яркости их совпадения (L_k);

$[S_1 - h_1(L_k)]$ и $[S_2 - h_2(L_k)]$ – оставшиеся части сумм гистограмм, обособленные на шкале яркостей после исключения из их состава слагаемых $h_1(L_k)$ и $h_2(L_k)$.

Тогда разность сумм гистограмм согласно приведенной записи состоит из обособленных частей и совпадающих по яркости их значений:

$$S_1 - S_2 = [S_1 - h_1(L_k)] - [S_2 - h_2(L_k)] + h_1(L_k) - h_2(L_k). \quad (5)$$

Отсюда для последующих преобразований этого выражения возможны два варианта, так как при $h_1(L_k) > h_2(L_k)$ разность $h_1(L_k) - h_2(L_k)$ положительна, а при $h_1(L_k) < h_2(L_k)$ – отрицательна.

Пусть имеем дело с первым случаем: $h_1(L) > h_2(L)$ и $h_1(L_k) - h_2(L_k) > 0$.
При этом предоставляется возможность разделения правой части разности сумм (5) на положительные и отрицательные значения. В результате рассматриваемая положительная разность $h_1(L_k) - h_2(L_k)$ должна быть присоединена к выделенной положительной сумме (первая квадратная скобка) как дополнительное положительное значение. То есть:

$$S_1 - S_2 = \{[S_1 - h_1(L_k)] + h_1(L_k) - h_2(L_k)\} - [S_2 - h_2(L_k)].$$

Тогда, раскрывая первые квадратные скобки положительной части, получим:

$$S_1 - S_2 = [S_1 - h_2(L_k)] - [S_2 - h_2(L_k)].$$

Оставшиеся здесь два слагаемых и представляют итоговые суммы положительных и отрицательных значений разности гистограмм, то есть:

$$S_1 - S_2 = [S_1 - h_2(L_k)] - [S_2 - h_2(L_k)] = S^+ - S^-.$$

Следовательно, вычитание гистограмм при $h_1(L_k) > h_2(L_k)$ приводит к уменьшению сумм положительных и отрицательных значений разности по сравнению с суммами значений самих гистограмм $S^+ < S_1$, а $S^- < S_2$, так как $S_1 = S_2$, а разность этих сумм остается той же:

$$S_1 - S_2 = S^+ - S^- = 0.$$

Аналогично рассмотренному можно допустить, что гистограммы $H_1(L)$ и $H_2(L)$ пересекаются так же, как и в предыдущем случае (по одному дискретному значению каждой из них имеют одинаковую яркость L_k), но при вычитании гистограмм эти одиночные значения соотносятся так: $h_1(L_k) < h_2(L_k)$. Тогда из выражения (5) следует, что для разделения представленной разности сумм на положительные и отрицательные значения разность $h_1(L_k) - h_2(L_k)$ должна быть присоединена к выделенной отрицательной сумме (вторая квадратная скобка) как дополнительное отрицательное значение разности. Тогда, выполняя преобразования по аналогии с предшествующими действиями, получим:

$$S_1 - S_2 = [S_1 - h_1(L_k)] - [S_2 - h_1(L_k)].$$

То есть и в этом случае $S^+ < S_1$, а $S^- < S_2$, так как $S_1 = S_2$.

Это и требовалось доказать по первой части формулировки теоремы, но для доказательства уменьшения положительной (S^+) и отрицательной (S^-) сумм по мере возрастания степени пересечения гистограмм следует рассмотреть случай, когда область их пересечения содержит, по крайней мере, по два дискретных значения каждой из них на двух совпадающих значениях яркости (L_k и L_g).

В этом случае суммы значений каждой из гистограмм можно уже записать таким образом:

$$\begin{aligned} S_1 &= [S_1 - h_{11}(L_k) - h_{12}(L_g)] + h_{11}(L_k) + h_{12}(L_g); \\ S_2 &= [S_2 - h_{21}(L_k) - h_{22}(L_g)] + h_{21}(L_k) + h_{22}(L_g). \end{aligned} \tag{6}$$

где $h_{11}(L_k), h_{21}(L_k)$ – дискретные значения первой и второй гистограмм, совпадающие на яркости L_k;

$h_{12}(L_g), h_{22}(L_g)$ – дискретные значения первой и второй гистограмм, совпадающие на яркости L_g.

Отсюда разность сумм таким образом представленных гистограмм (5) выглядит так:

$$S_1 - S_2 = [S_1 - h_{11}(L_k) - h_{12}(L_g)] - [S_2 - h_{21}(L_k) - h_{22}(L_g)] + \\ + h_{11}(L_k) + h_{12}(L_g) - h_{21}(L_k) - h_{22}(L_g).$$

В отличие от первой части доказательства число вариантов преобразования этой разности соответствует восьми степеням свободы, обусловленным соотношениями величин $h_{11}(L_k)$, $h_{21}(L_k)$ и $h_{12}(L_g)$, $h_{22}(L_g)$.

Задавшись одним из вариантов соотношения значений гистограмм, совпадающих на яркостях их пересечения (например: $h_{11}(L_k) > h_{21}(L_k)$ и $h_{12}(L_g) < h_{22}(L_g)$), получим следующее разделение разностей дискретных значений на положительную и отрицательную части:

$$S_1 - S_2 = [S_1 - h_{11}(L_k) - h_{12}(L_g)] + [h_{11}(L_k) - h_{21}(L_k)] - \\ - [S_2 - h_{21}(L_k) - h_{22}(L_g)] - [h_{22}(L_g) - h_{12}(L_g)].$$

Отсюда, раскрывая скобки в уменьшаемом и вычитаемом, представляющих положительную и отрицательную суммы разностей гистограмм, получим:

$$S_1 - S_2 = \left[S_1 - h_{12}(L_g) - h_{21}(L_k)\right] - \left[S_2 - h_{12}(L_g) - h_{21}(L_k)\right] = S^+ - S^- = 0 .$$

По сравнению с предыдущим случаем (по одному значению на пересечении гистограмм) здесь суммы отрицательных и положительных значений разности гистограмм в силу большей степени пересечения гистограмм (на двух совпадающих яркостях) оказались уменьшенными на два дискретных значения и по-прежнему удовлетворяют соотношениям $S^+ < S_1$ и $S^- < S_2$, так как $S_1 = S_2$.

Очевидно, что аналогичные результаты могут быть получены во всех остальных шести вариантах пересечения гистограмм. Поэтому на этом можно остановиться и считать теорему доказанной, понимая, что увеличение степени пересечения приведет к дальнейшему уменьшению сумм положительных и отрицательных значений разности гистограмм.

Методология решения задачи сведения яркостей

Формулировка и доказательство теоремы позволяют легко обнаружить, что поведение разности гистограмм разновременных изображений одного и того же объекта ничем не отличается от ее поведения для разных объектов. Здесь гистограммы, фигурирующие при рассмотрении разновременных изображений, можно представить как:

– гистограмма текущего изображения – $H(L)$;

– гистограмма изображения предшествующего состояния (эталонная) – $H_Э(L)$.

По аналогии с обозначениями теоремы отрицательные и положительные значения в разности гистограмм следует представить так:

$$\Delta H(L) = \begin{cases} \Delta H^+(L), \textit{ если } H(L) - H_Э(L) > 0; \\ \Delta H^-(L), \textit{ если } H(L) - H_Э(L) < 0. \end{cases}$$

Как следствие теоремы, в одном из положений гистограмм при увеличении степени их пересечения (сдвиге текущей гистограммы на величину $\Delta L = \Delta L_{опт}$ в направлении максимального совмещения с эталонной гистограммой) достигается такое их взаимное положение (вместо пересечения имеем дело с полным совпадением одной из них с другой), при котором суммы этих разнознаковых разностей равны по модулю и минимальны:

$$\sum_{L=0}^{255} \Delta H^+(L) = \left| \sum_{L=0}^{255} \Delta H^-(L) \right| = \min .$$

После достижения этого минимума (или даже нуля для случая полного совпадения неотличающихся гистограмм) дальнейшее смещение приводит к тому, что при $L_2 < 0$ величины рассматриваемых составляющих начнут возрастать.

Отсюда следует: чем хуже сведены по яркостям два разновременных изображения, тем большее значение будет принимать каждая из равных друг другу составляющих $\sum_{L=0}^{255} \Delta H^+(L)$ и $\sum_{L=0}^{255} \Delta H^-(L)$, имеющих всегда нулевую алгебраическую сумму. Поэтому одна из этих сумм – положительная или отрицательная – может быть показателем степени сведения яркостей разновременных изображений (η).

Однако этим сведение яркостей может не исчерпываться. В случае отличающихся диапазонов яркости гистограмм одна из них, имеющая более узкий диапазон (рис. 1), при сдвигах относительно второй в условиях полного с ней совмещения (а не просто – пересечения), несмотря на достижение минимума показателя η, будет всегда отличаться от нее. Уже само отличие диапазонов (сжатие и растяжение гистограмм) – свидетельство отличия освещенности, яркость по отношению к которой прямо пропорциональна [5].

Таким образом, без сжатия или растяжения гистограммы $H(L)$ не обойтись, обеспечивая равенство ее диапазона яркостей с диапазоном эталонной гистограммы $H_Э(L)$. Точно так же не обойтись и без сдвига их для устранения систематических отличий яркости. И только одновременное выполнение и одной и другой операций для достижения минимума выбранного показателя оптимальности η приводит к желаемому результату.

Интересно отметить, что подобные преобразования характерны и для методологии интерактивного непосредственного сведения яркостей изображений, заключающейся в определении коэффициентов полинома первой степени (1), использование которого представляет растяжение-сжатие (коэффициент k) и сдвиг (ΔL). Здесь те же параметры получаются через использование гистограмм. Эквивалентность их обеспечивается минимизацией яркостных отличий гистограмм, а следовательно, изображений. Так, при отсутствии изменений внешнего вида объекта все компоненты объекта должны совпадать по яркости на его изображениях с отличной от нуля разностью яркостей, обусловленной шумами. Ненулевое, но минимально возможное значение рассматриваемого показателя оптимизации $\eta_{\min}$ при использовании гистограмм отражает это состояние. Изменения объекта приводят к тому, что минимально возможное значение показателя оптимальности сведения гистограмм $\eta_{\min}$ в результате выбора новых значений k и ΔL окажется превышающим предшествующее значение, но отражающим теперь уже имеющие место изменения на изображении с точностью до величины, обусловленной шумами.

В отличие от непосредственного сведения изображений все операции здесь, начиная от расчета гистограмм изображений и кончая поиском оптимальных значений $k_{опт}$ и $\Delta L_{опт}$, соответствующих минимуму параметра оптимизации $\eta = \sum_{L=0}^{255} \Delta H^{+}(L)$, хорошо программируемые операции обработки. Это и обеспечивает автоматизацию рассматриваемого способа.

Экспериментальная оценка особенностей сведения яркостей гистограмм и алгоритм

Экспериментальная отработка способа сведения яркостей гистограмм $H(L)$ и $H_Э(L)$ разновременных изображений показала, что задача одновременного поиска оптимальных значений коэффициента сжатия гистограммы текущего изображения $H(L)$ и ее сдвига является задачей поиска глобального минимума показателя оптимальности η. Согласно рассмотренным условиям решение такой задачи наиболее рационально с помощью слепого поиска [7].

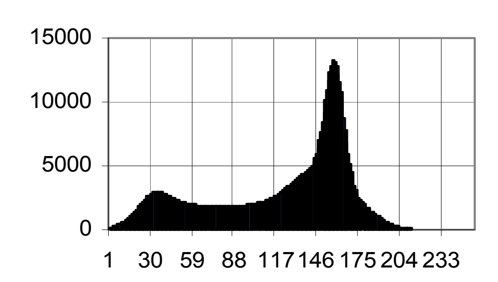
Так, на рис. 4 приведены два разновременных изображения одного и того же участка местности (объекта) и их гистограммы, которые, несмотря на имеющие место изменения, позволяют легко обнаружить яркостные отличия.



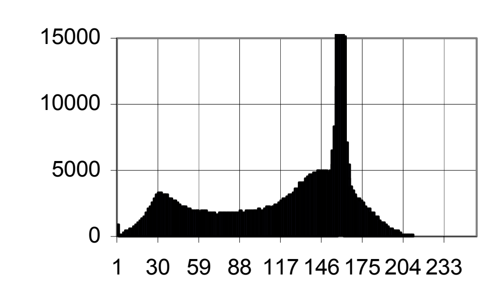
Съемка 13.08.2004 г.



Съемка 24.10.2004 г.



Гистограмма 13.08.2004 г.



Гистограмма 24.10.2004 г.

Рисунок 4 – Два разновременных изображения и их гистограммы

Результаты дискретно организованного поиска соответствующих оптимальных значений коэффициента сжатия и сдвига яркостей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициент сжатия гистограммы	Величина и направление сдвига (знак) предварительно сжатой гистограммы 24.10.2004 по яркости, обеспечивающие минимум показателя оптимизации при сведении ее с гистограммой 13.08.2004	Минимум показателя качества
0,9	+2	202225
0,929412	–4	199174
0,933333	–3	198359
0,937255	–5	197936
0,941176	–6	198111
0,945098	–6	198241
0,955	–9	212630
0,984314	–13	197310
0,988235	–14	195786
0,992157	–14	196361
0,996078	–15	196456

Как следует из табл. 1, глобальный минимум показателя оптимальности сведения гистограмм $\eta = 195786$ соответствует сжатию с коэффициентом $k = 0{,}988235$ и сдвигом $\Delta L = -14$. В то же время здесь можно обнаружить, что в процессе дискретного увеличения сжатия локальный оптимум достигается при $k = 0{,}937255$ и сдвиге $\Delta L = -5$.

Рис. 5 для двух приведенных разновременных изображений демонстрирует зрительно наблюдаемый эффект различий в разности гистограмм до их сведения и при оптимальном сдвиге текущей гистограммы.

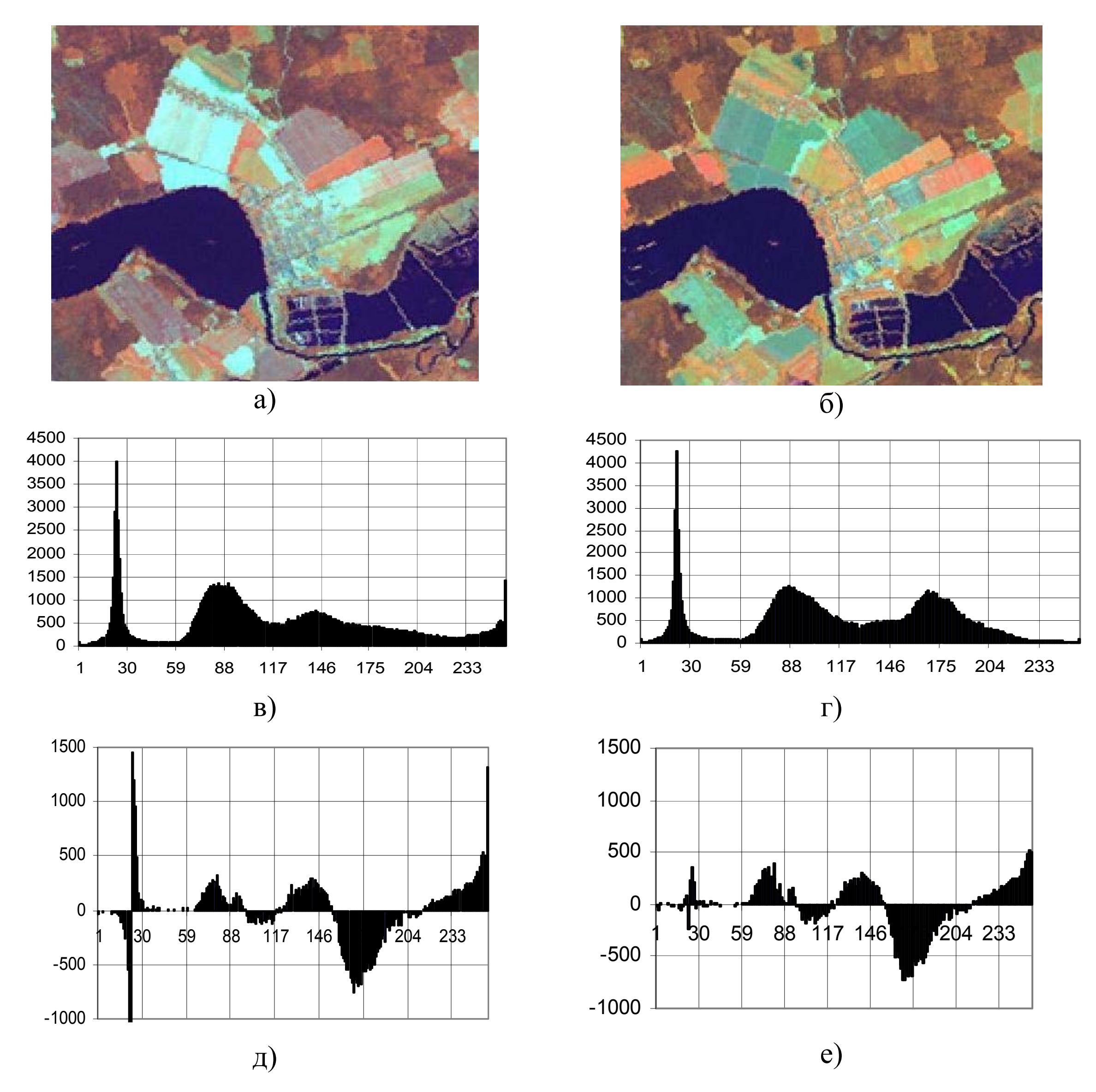


Рисунок 5 – Разновременные изображения участка местности, их гистограммы и разности: а), в) – изображение 21.7.1999 и его гистограмма; б), г) – изображение 5.06.2000 г. и его гистограмма; д) – разность не сведенных по яркости гистограмм; е) – разность сведенных гистограмм

На рассмотренной основе строится алгоритм поиска оптимальных значений параметров сведения гистограмм, который в итоге предполагает:

– сжатие (растяжение) диапазона яркостей текущей гистограммы $H(L)$ с одним из заданных коэффициентов k_i в возможном диапазоне их изменений и поиску наиболее приемлемого сдвига ΔL_j в соответствующем диапазоне его значений $\pm \Delta L$;

– использование в качестве показателя «наиболее приемлемого сдвига» параметра оптимизации $\eta = \sum_{L=0}^{255} \Delta H^{+}(L)$, достигающего минимума при одном из значений всего диапазона сдвигов;

– запоминание полученного таким образом результата локального оптимума (i-е сжатие-растяжение, j-й сдвиг);

– повторения предшествующих операций для нового коэффициента сжатия (растяжения) во всем диапазоне сдвигов;
– определения параметров сжатия (растяжения) диапазона яркостей и сдвига, соответствующих глобальному оптимуму из полученных и запомненных локальных результатов.

Заключение

Введено понятие объекта спутниковой съемки, ограниченного по площади и расположению. Обнаружены особенности разности гистограмм разновременных изображений такого объекта. Приведенные результаты поведения этой разности, полученные моделированием и по реальным изображениям, подкреплены теоретическим обоснованием закономерностей изменений ее характеристик в зависимости от позиционирования гистограмм в диапазоне регистрации яркостей. Это позволило предложить порядок использования разностей гистограмм для сведения яркостей, выбрать параметр оптимизации, подкрепить открывшиеся возможности данными экпериментальных исследований и сформулировать алгоритмические принципы автоматической обработки, исключающей применение интерактивных действий.

Литература

1. Барталев С.С. Оценка индикаторов состояния лесов Московской области по данным спутниковых наблюдений // Электронный научный журнал «Исследовано в России», 948. – 2006. – Режим доступа: http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/100.pdf.
2. Durrieu S. et Deschayes M. Methode de comparaison d'images satellitaires pour la detection des changements en milieu forestier; application aux Monts de Lacaune (Tarn, France). Ann. Sci For. – 1994. – 51. – S. 147-161.
3. Белозерский Л.А. Моделирование и анализ информативности распределения яркости локальных объектов спутникового мониторинга // Искусственный интеллект. – 2007. – № 4. – С. 239-252.
4. Белозерский Л.А. Моделирование гистограмм изображений для анализа состояний объектов дистанционного спутникового зондирования // Информатика. – 2008. – № 2(18). – С. 45-53.
5. Элементарный учебник физики: Учебное пособие в 3 т. / Под ред. академика Г.С. Ландсберга. – 10-е изд., перераб. – М.: Наука, ГИФМЛ, 1986. – Т. III. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. – 656 с.
6. Belozerskyy L.A., Oreshkina L.V. Histograms of satellite images and status of objects // International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2008) – May 27 – 30. – Minsk, Belarus. – P. 193-197.
7. Растригин Л.А. Случайный поиск. – Рига: Зинатне, 1965. – 212 с.

Л.А. Білозерський, Л.В. Орєшкіна

Спосіб автоматизації зведення яскравостей різночасових супутникових зображень геодезично визначених ділянок земної поверхні

У статті пропонується спосіб автоматичного зведення яскравостей різночасових космічних зображень наземних об’єктів, геодезично обмежених за розташуванням на поверхні Землі. Зведення будується на основі використання різниці гістограм цих зображень, яка припускає програмну реалізацію як спосіб автоматичного рішення задачі без застосування інтерактивних операцій. Розглядаються аналітичні передумови прийнятої побудови, наводяться експериментальні дані й формулювання алгоритму обробки інформації.

L.A. Belozersky, L.V. Areshkina

Method of Automation of Brightness Convergence of Different Satellite Images of Geodetic Certain the Earth area Surface

The method of automatic brightness convergence of different satellite images of ground objects geodetic limited by position on the Earth surface is offered. Convergence is built on the basis of difference between the histograms of these images admitting program realization as a way of the automatic decision of a task without application of interactive operations. Analytical preconditions of the accepted construction are considered, experimental data and the algorithm definition of information processing are resulted.

Статья поступила в редакцию 02.06.2008.